

Comment faire une sauce mayonnaise verte ?

Objectif pédagogique :

Faire découvrir les pigments des épinards
Comprendre quelques propriétés des pigments
Découvrir la méthode de la chromatographie en l'utilisant

Notion principale abordée :

Les pigments

Autres notions :

L'eau dans les végétaux
Solubilité, hydrophilie, hydrophobie
Chromatographie
Capillarité

Durée :

2 heures

Autonomie :

La première étape de l'atelier nécessite l'utilisation d'une plaque chauffante. La manipulation sera donc effectuée par l'enseignant (en discussion avec les enfants).
La quasi-totalité du reste de l'Atelier peut être effectuée sans danger, par les enfants.

Fiche expérimentale :

Matériel pour une classe de 30 enfants :

- 1 kilogramme d'épinards frais
- 1 casserole
- 1 plaque chauffante
- Sulfate de cuivre (100 grammes)
- pilons et mortiers (ou à défaut des galets et des bols)
- 15 rectangles de papier filtre de 3x10 centimètres
- 15 bols (les enfants peuvent apporter des bols incassables de chez eux)
- 1 litre d'huile de tournesol
- Alcool à brûler
- Lunettes de protection de chimie
- 1 pipette

Protocole général :

On présente aux enfants la technique qu'utilisent les cuisiniers professionnels pour extraire la couleur des épinards et teinter les mets, notamment la sauce mayonnaise, en vert. On recherche en classe une autre manière d'extraire la couleur. On comprend que la couleur vient des pigments, molécules solubles dans l'huile mais qui sont enfermées dans les cellules

des feuilles qui sont pleines d'eau. On utilise la méthode de la chromatographie pour étudier les pigments.

Détail de la séance expérimentale :

1. Pour faire une mayonnaise verte, les cuisiniers préparent du « vert d'épinard », qu'ils obtiennent de la façon suivante. Ils broient des épinards dans de l'eau, filtrent, font chauffer à feu très doux le liquide vert qu'ils ont récupéré. L'écume verte qui se forme en surface, et qu'ils récupèrent à la cuiller est le vert d'épinard. L'enseignant montre expérimentalement cette préparation aux enfants.
2. L'enseignant fait chauffer doucement, à sec, 50 grammes d'épinards dans une casserole initialement munie d'un couvercle. Au bout de quelques minutes, il fait observer aux enfants que de l'eau s'est déposée sur le couvercle. Il laisse cuire les épinards sans couvercles pendant 10 minutes, un enfant pèse ce qui reste dans la casserole. On pourra ainsi montrer que les épinards sont essentiellement constitués d'eau.
3. L'enseignant met du sulfate de cuivre anhydre dans de l'eau. Le produit prend une teinte bleue. Il met alors du sulfate de cuivre sur des épinards frais écrasés. Les enfants observent.
4. Les enfants procèdent au broyage de la feuille d'épinard qui leur est confiée. Pour cela, ils mélangent la feuille à de l'eau, de l'huile ou de l'alcool dans un bol. Ils écrasent ensuite la feuille à l'aide d'un gros galet. Ils versent le contenu de leur bol dans un verre à section étroite.
5. On procède à l'extraction des pigments des épinards dans l'alcool. Les enfants filtrent leur préparation. Certains binômes mélangent leur alcool coloré à de l'huile. Les autres le mélangent à de l'eau. On observe la couleur et on compare les résultats obtenus avec de l'huile ou de l'eau.
6. Les enfants écrasent des épinards avec un peu d'alcool. Ils prélèvent une goutte d'alcool coloré à l'aide d'une pipette et déposent cette goutte à 1 centimètre et demi du bas d'un rectangle découpé dans du papier filtre. A l'aide de ruban adhésif, ils accrochent l'autre extrémité du rectangle de papier filtre à un crayon qu'ils suspendent au-dessus d'un verre à section étroite de manière que le bas du rectangle arrive à quelques millimètres du fond du verre. Ils versent de l'alcool à brûler dans le fond du verre sur 1 centimètre de hauteur.
7. On observe la migration de l'alcool
8. On observe la migration des pigments.
9. On discute de la méthode de fabrication du vert d'épinard.

Commentaires pédagogiques :

- 1. Pour faire une mayonnaise verte, les cuisiniers préparent du « vert d'épinard », qu'ils obtiennent de la façon suivante. Ils broient des épinards dans de l'eau, filtrent, font chauffer à feu très doux le liquide vert qu'ils ont récupéré. L'écume verte qui se forme en surface, et qu'ils récupèrent à la cuiller est le vert d'épinard. L'enseignant montre expérimentalement cette préparation aux enfants.*

Les manipulations décrites dans cet atelier peuvent se faire avec n'importe quel tissu végétal vert, par exemple avec du gazon, moins coûteux que les épinards. Evidemment, si l'on utilise le gazon, on expliquera aux enfants que les applications culinaires ne se font traditionnellement qu'avec des épinards (et l'on pourra ajouter que des cuisiniers modernes utilisent la méthode de préparation des pigments avec d'autres végétaux - cerfeuil, persil...- avec des goûts différents). La raison de ce choix est la suivante : d'une part, les épinards, avec leurs grosses feuilles, sont bon marché et faciles à trier, de sorte que l'on peut éviter la présence, dans la préparation pigmentaire finale, de composés toxiques qui auraient été présent dans le matériel végétal initial.

Si le broyage des épinards se fait à l'aide d'un pilon et d'un mortier, on ajoute un peu d'eau aux feuilles que l'on broie. Si l'on ne dispose pas de mortier, un galet bien rond et un récipient qui ne craint pas les rayures peuvent être utilisés, par exemple.

En cuisine, la filtration s'effectue dans un « chinois » intérieurement tapissé d'un linge. Il s'agit surtout d'éliminer les particules végétales, qui n'auraient pas été correctement broyées. Lors du chauffage, l'écume verte surmonte un liquide brun. Cette écume contient notamment les pigments photosynthétiques, nombreux dans les végétaux verts. Ceux qui donnent la teinte principale sont les chlorophylles, dont il existe plusieurs sortes, repérées par des lettres a, a', b, b'. A ces pigments de base s'ajoutent des pigments formés par dégradation et nommés phéophytines (avec le même repérage par des lettres), où un atome de magnésium, au centre de la molécule de chlorophylle, a été éjecté, d'où une couleur tirant vers le vert olive, d'un vert moins frais. L'écume contient également nombre de pigments caroténoïdes : d'abord des carotènes, orange, et des pigments plus jaunes formant la sous-classe des xanthophylles, du grec *xanthos*, jaune). C'est l'ensemble de ces molécules qui donnent la teinte particulière des végétaux. On pourra faire observer aux enfants que l'automne, quand les feuilles tombent, elles jaunissent ou rougissent parce que les chlorophylles sont dégradées, révélant la couleur restante. C'est la raison pour laquelle les peintres prennent toujours soin d'ajouter une pointe de jaune, d'orange ou de rouge au vert qu'ils utilisent pour peindre les végétaux.

- 2. L'enseignant fait chauffer doucement, à sec, 50 grammes d'épinards dans une casserole initialement munie d'un couvercle. Au bout de quelques minutes, il fait observer aux enfants que de l'eau s'est déposée sur le couvercle. Il laisse cuire les épinards sans couvercles pendant 10 minutes, un enfant pèse ce qui reste dans la casserole. On pourra ainsi montrer que les épinards sont essentiellement constitués d'eau.*

La pesée est une méthode essentielle, grâce à laquelle le grand chimiste français Antoine Laurent de Lavoisier, père de la chimie moderne, a réussi à réfuter l'ancienne théorie du « phlogistique », laquelle proposait l'existence de masses négatives, notamment (si l'on parle de Lavoisier aux enfants, on évitera d'attribuer à Lavoisier la formule « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme », parce qu'elle n'a jamais été trouvée sous la plume de

Lavoisier, elle n'a jamais été attribuée par un contemporain de Lavoisier à ce dernier, et date des Grecs !).

La méthode de la pesée a l'intérêt pédagogique de conduire les enfants à manipuler la soustraction, non pas tant dans sa pratique mathématique, dans le cadre de ces ateliers, que dans son maniement intellectuel. Ici, elle permet de mettre les enfants sur la voie d'un raisonnement sain, parce que rationnel, à propos du monde où ils vivent. La méthode de mise en évidence de l'eau par chauffage d'un aliment sera d'ailleurs utilisée au cours d'autres ateliers (limonade...). On pourra insister sur le résultat obtenu, car les enfants ne savent pas, en général, que les légumes contiennent de l'eau... et même les adultes ignorent que, pour certains aliments, la teneur en eau atteint 99 pour cent.

Cette eau n'est pas « nourrissante », même quand elle est parfumée. Par exemple, la « vitalose » envisagée par l'écrivain français Gustave Le Rouge, il y a un siècle, dans un roman de science-fiction qui faisait état de ce que l'on mangerait en l'an 2000, était un fantasme, parce que l'alimentation humaine ne peut se réduire à de l'eau : les êtres humains ont besoin de protéines, notamment pour construire ou entretenir leur organisme, des lipides, pour constituer les membranes de leurs cellules, de glucides, qui sont notamment décomposés en glucose, lequel, circulant dans le sang, constitue le carburant des cellules...

En cuisant les épinards, à sec, on évapore l'eau contenue dans les cellules végétales qui composent les feuilles d'épinards. Quand on ne couvre pas la casserole, on peut observer une fumée blanche, qu'il est plus approprié de nommer « aérosol liquide » : il ne s'agit pas de « vapeur », laquelle est un gaz, invisible, mais d'une myriade de petites gouttelettes d'eau, formées quand la vapeur s'est recondensée en arrivant dans l'air, froid ; ces gouttelettes sont emportées par la vapeur chaude qui monte au-dessus de la casserole.

Lorsqu'un couvercle est posé sur la casserole, le contact du couvercle froid fait recondenser la partie de l'eau présente sous la forme de vapeur, tandis que les gouttelettes viennent « coller » au couvercle et à la couche d'eau liquide qui vient bientôt le recouvrir.

Si on enlève le couvercle, la vapeur d'eau, ainsi que les gouttelettes d'eau, s'échappent dans l'air.

Les feuilles d'épinard perdant une grande partie de leur eau par évaporation, on peut constater que leur volume diminue considérablement. On peut mesurer la quantité d'eau qui s'est évaporée en pesant les feuilles d'épinard séchées et en comparant cette masse à celles des feuilles fraîches placées initialement dans la casserole.

- 3. L'enseignant met du sulfate de cuivre anhydre dans de l'eau. Le produit prend une teinte bleue. Il met alors du sulfate de cuivre sur des épinards frais écrasés. Les enfants observent.*

L'utilisation de sulfate de cuivre pour mettre en évidence la présence d'eau est simple et bon marché. Le test proposé n'est pas indispensable pour montrer la présence d'eau dans les épinards, mais il permet des manipulations supplémentaires, et montre l'usage d'un « marqueur coloré », comme la chimie en utilise classiquement.

Le sulfate de cuivre est couramment utilisé en viticulture pour protéger les vignes des parasites. Il est donc assez facile de s'en procurer. Dans cet usage, il n'est pas très pur, mais cela ne gêne pas l'utilisation qui en est proposée ici.

La formule chimique du sulfate de cuivre est $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$: le sulfate de cuivre est composé de cuivre (Cu), de soufre (S), d'oxygène (O). Le réseau cristallin prend sa couleur bleue quand il inclut de l'eau (H_2O), mais il est blanc, en l'absence de cette dernière.

Pour obtenir du sulfate de cuivre anhydre, on se contentera de chauffer au four une coupelle contenant du sulfate de cuivre, jusqu'à ce que les cristaux bleus virent au blanc.

Le sulfate de cuivre anhydre ainsi formé est très « hygroscopique » : il absorbe très efficacement l'eau qui est en sa présence, notamment l'humidité de l'air, et reprend alors réversiblement sa couleur bleue. C'est notamment la raison pour laquelle on préparera le sulfate de cuivre au dernier moment (on le transportera dans un flacon bien bouché, surtout si le temps est humide).

A noter que les enfants ne devront en aucun cas manger le sulfate de cuivre, qui est toxique (on pourra le leur montrer en comparant deux bouteilles en plastique emplies d'eau, l'une avec du cuivre et l'autre sans : la bouteille sans cuivre se tapisse bientôt d'algues, contrairement à l'autre).

Par ailleurs, comme le sulfate de cuivre anhydre capte l'eau, il peut provoquer des irritations s'il est mis en contact des yeux ou de la peau. L'enseignant pourra même utiliser des lunettes de protection.

On montrera aux enfants qu'en déposant quelques grammes de poudre blanche, à l'aide d'une cuillère bien sèche, sur de l'eau, la poudre se colore en bleu. Les enfants seront amenés à conclure que l'eau a la propriété de changer la couleur du sulfate de cuivre.

On cherchera alors de rechercher l'eau dans plusieurs aliments, par ordre de difficulté croissante. Sur les propositions des enfants, on pourra déposer du sulfate de cuivre du blanc d'œuf (composé à 90 pour cent d'eau), une boisson, un morceau de pomme, de l'huile, du beurre... On verra ainsi que les aliments contiennent le plus souvent de l'eau (notamment les tissus animaux ou végétaux), mais que l'huile n'en contient pas.

Enfin, le sulfate de cuivre appliqué aux feuilles d'épinard ou au gazon confirmera que ces derniers contiennent naturellement de l'eau, mais que le chauffage la leur fait perdre.

- 4. Les enfants procèdent au broyage de la feuille d'épinard qui leur est confiée. Pour cela, ils mélangent la feuille à de l'eau, de l'huile ou de l'alcool dans un bol. Ils écrasent ensuite la feuille à l'aide d'un gros galet. Ils versent le contenu de leur bol dans un verre à section étroite.*

Il est improbable que la classe dispose d'un mortier et d'un pilon pour chaque élève. Aussi pourra-t-on soit opérer élève par élève, en mettant en commun des observations sur l'opération, lors de celle-ci, ou bien faire broyer à l'aide d'un galet et d'un bol.

Le broyage des feuilles produit des fragments à la surface desquels les cellules sont ouvertes, ce qui libère leur contenu, notamment les organites intracellulaires où les pigments sont stockés (chloroplastes...). Ainsi, mieux le broyage sera fait, plus les pigments pourront être récupérés. L'emploi d'un solvant (eau, huile ou alcool) permet la récupération des pigments dans ce dernier. Cependant, les pigments photosynthétiques des végétaux sont hydrophobes, c'est-à-dire qu'ils ne se dissolvent pas dans l'eau. L'extraction pose donc un problème intéressant, résolu empiriquement, mais sans considération de rendement par le monde culinaire.

Les binômes qui font leur extraction dans l'eau constateront que cette dernière prend une couleur verte. Cependant, s'ils observent leur préparation au microscope, ils verront que la couleur est due à des particules en suspension. Pour les classes où il n'y a pas de microscope (pour les classes équipées, l'expérience peut évidemment être également faite), une simple

sédimentation peut utilement remplacer l'observation au microscope : en laissant reposer leur préparation jusqu'au lendemain, les enfants constateront que ce qui a donné la couleur verte ne s'est pas mélangé à l'eau et s'est déposé au fond du verre ; il s'agit de particules d'épinard c'est-à-dire de morceaux de cellules.

On pourra même observer que les particules les plus grosses sont les premières à atteindre le fond du verre.

Les binômes qui font leur extraction dans l'huile n'obtiennent qu'une faible coloration du solvant, car l'huile ne peut s'introduire dans le tissu végétal qui est plein d'eau. On pourra montrer cela en essayant de mélanger de l'eau et de l'huile et en constatant que les deux liquides se séparent systématiquement en deux phases (voir la fiche d'étude de la vinaigrette). Seuls les pigments qui ont été extraits des cellules lors du broyage peuvent se dissoudre dans l'huile et la colorer.

Enfin, les binômes qui font leur extraction dans l'alcool obtiennent une très bonne coloration du solvant. En effet, l'alcool est un solvant organique c'est-à-dire qui peut s'associer à des pigments hydrophobes. Mais ce solvant peut aussi se mélanger à l'eau et donc pénétrer dans le tissu végétal.

Pour montrer la nature hydrique de l'alcool, on pourra verser du pastis dans l'eau et observer un trouble qui sera reproduit de la façon suivante. D'abord, on mettra un peu d'huile dans un bocal à confiture muni d'un couvercle ; puis on ajoutera de l'alcool, que l'on verra flotter à la surface de l'huile. Une agitation du bocal permettra d'obtenir un liquide blanc, que l'on pourra verser dans l'eau : les molécules de l'huile qui auront été dissoutes dans l'alcool se réuniront sous la forme de gouttelettes dispersées dans l'eau, quand le mélange huile/alcool y aura été versé. On pourra étudier la stabilité d'un tel système en le laissant reposer plusieurs jours.

- 5. On procède à l'extraction des pigments des épinards dans l'alcool. Les enfants filtrent leur préparation. Certains binômes mélangent leur alcool coloré à de l'huile. Les autres le mélange à de l'eau. On observe la couleur et on compare les résultats obtenus avec de l'huile ou de l'eau.*

En mélangeant de l'alcool coloré à de l'huile ou à de l'eau, les enfants confirment les suppositions faites à l'étape précédente.

L'huile se colore en vert donc les pigments se mélangent facilement à l'huile. Ils sont bien hydrophobes.

En revanche, l'eau ne se colore pas et les pigments se retrouvent au fond du verre. Ils ne sont donc pas solubles dans l'eau.

6. Les enfants écrasent des épinards avec un peu d'alcool. Ils prélèvent une goutte d'alcool coloré à l'aide d'une pipette et déposent cette goutte à 1 centimètre et demi du bas d'un rectangle découpé dans du papier filtre. A l'aide de ruban adhésif, ils accrochent l'autre extrémité du rectangle de papier filtre à un crayon qu'ils suspendent au-dessus d'un verre à section étroite de manière que le bas du rectangle arrive à quelques millimètres du fond du verre. Ils versent de l'alcool à brûler dans le fond du verre sur 1 centimètre de hauteur.

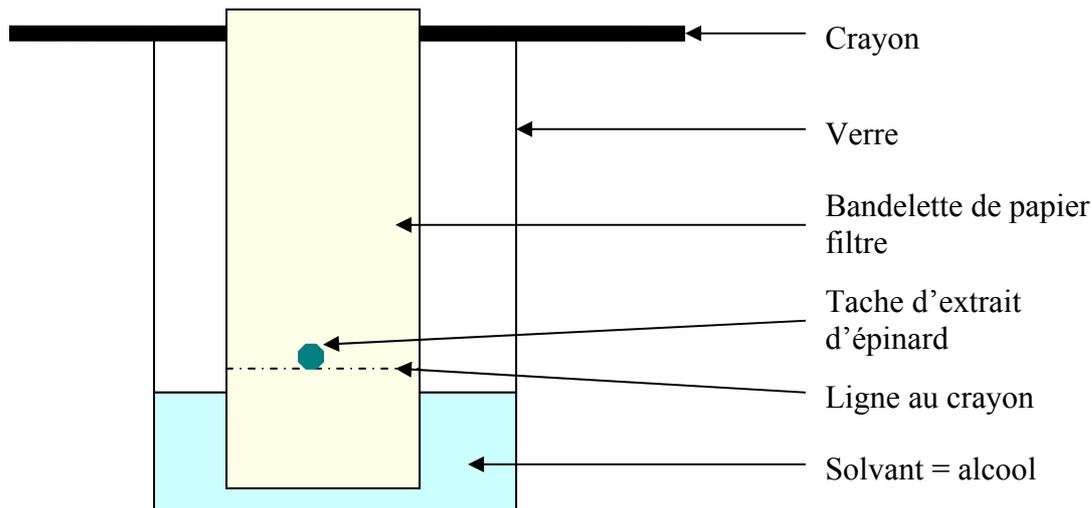


Figure 1: Schéma du montage de la chromatographie sur couche mince

Dans les séparations par « chromatographie sur couche mince », le principe (découvert par Mikhail Tswett, en 1906) est de faire migrer un solvant sur un morceau de papier filtre. Le solvant entraîne avec lui une partie de l'échantillon que l'on veut étudier. Quand l'échantillon est composé de plusieurs espèces chimiques différentes, la séparation de ces dernières a lieu si chaque espèce a une affinité différente pour le solvant et pour le matériau qui compose la couche où migre le solvant.

Dans cet atelier, le solvant est de l'alcool, de sorte que plus les divers pigments extraits sont solubles dans l'alcool, plus ils seront entraînés facilement par ce dernier et plus ils migreront rapidement. Les pigments qui ne sont pas solubles dans l'alcool resteront accrochés au papier et on les retrouvera dans la tache initiale ou peu au-dessus.

Attention à ne pas faire tremper la tache dans le solvant : les pigments solubles dans l'alcool se dissoudraient immédiatement, restant alors au fond du verre.

7. On observe la migration de l'alcool

On constate que l'alcool monte sur la bande de papier filtre. On dit qu'il imprègne la bande de papier filtre par « capillarité » (du latin *capillus*, cheveu).

Pour familiariser les enfants avec le phénomène, on pourra l'observer en trempant un sucre ou un bout de tissu dans de l'eau colorée : l'eau semble attirée par les parties sèches du sucre même quand celles-ci sont au-dessus des parties mouillées. Pour une exploration de ce phénomène, voir la fiche sur le saucisson brioché.

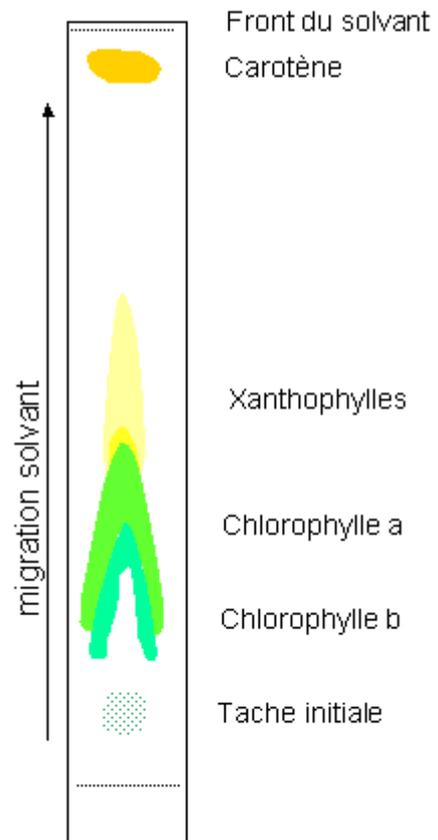
Les enfants pourront comparer la hauteur atteinte par l'alcool sur leurs différentes bandelettes pour une durée égale. Ils constateront que, sur certaines bandelettes, la migration a été plus rapide. On peut attribuer ce phénomène au sens des fibres du papier filtre ou à la verticalité de celui-ci.

8. On observe la migration des pigments.

Selon le solvant utilisé, la séparation des pigments de l'épinard est plus ou moins précise. Ce qui serait gênant dans une expérience scientifique n'est que secondaire ici : le principal objectif de cette manipulation est de montrer aux enfants que la couleur verte des végétaux n'est pas due à un pigment, mais à un mélange de plusieurs pigments.

On observera notamment une tache verte en bas du filtre, une tache jaune au-dessus et, éventuellement, une tache marron en haut du filtre. Les noms des pigments ne sont pas à retenir, mais ils pourront être évoqués. Notamment, la chlorophylle, responsable de la couleur verte, a sans doute déjà été vue par les enfants dans des chewing-gums à la chlorophylle par exemple.

L'étymologie sera une bonne façon de familiariser les enfants avec les pigments. « Chlorophylle » vient de *kloros*, vert, et *phyllos*, feuille. L'étymologie de « xanthophylle » a été évoquée précédemment. Quand à « caroténoïdes », le mot dérive de « carotte », d'où furent initialement extraits le β -carotène ; le mot « carotte » dérive de *garroite* « plante dont la racine charnue est comestible », d'où « la racine même de cette plante » (*Ménagier*, 1393), puis est devenu « carote » en 1538.



9. On discute de la méthode de fabrication du vert d'épinard.

Les enfants demandent souvent pourquoi broyer les feuilles avant de les chauffer, ce qui appelle évidemment l'expérience qui consiste à chauffer des feuilles d'épinard dans l'eau : on verra alors que l'eau de cuisson reste très pâle.

Pour comprendre la raison de la différence, l'usage du microscope est important. Si l'on n'en dispose pas, on sera réduit soit à une explication orale, soit à une explication par une modélisation, par exemple, à l'aide de petits bouts de papier vert que l'on disposera à l'intérieur de petits sacs blancs que l'on collera ensemble : les enfants comprendront bien qu'il faut ouvrir les sacs pour récupérer la matière colorante.

De même, quand on fabrique du vert d'épinard, les cellules peuvent se briser sous l'action de la chaleur, mais la libération dans l'eau n'est pas favorisée, car ces pigments sont hydrophobes. La couleur verte est due qu'aux particules végétales. Si on utilise simplement un broyat végétal dans une sauce liquide, telle une vinaigrette, les fragments de tissu végétal sédimenteront, et la couleur de la sauce ne sera pas homogène.

En chauffant des feuilles d'épinard dans de l'huile ou en procédant à une extraction à l'alcool, on obtiendrait une meilleure couleur.

Par ailleurs, l'extraction par chauffage donne une couleur plus fade que celle par broyage car certains pigments sont endommagés par la chaleur : les chlorophylles, notamment, sont transformées en phéophytines, comme indiqué précédemment.

Pour aller plus loin :

1. On pourra tenter faire une chromatographie avec d'autres pigments. On essaiera notamment avec les colorants du chou rouge qui sont hydrophiles et qui migrent bien avec des solvants tels que l'eau salée.
2. On pourra comparer les chromatographies de différents légumes verts. On s'apercevra que la couleur verte des légumes peut être due au mélange de différents pigments.
3. On pourra utiliser les solutions d'extrait d'épinards pour étudier l'absorption de la lumière (voir fiche sur les carottes et tomates).
4. On pourra verser dans les solutions colorées des produits plus ou moins acides pour constater un changement de couleur. Les pigments étant sensibles à l'acidité, ils peuvent servir d'indicateurs colorés (voir fiche sur le chou rouge).

Bibliographie :

Cassettes « Côté cuisine/côté labo », CNDP